

## 審査の結果の要旨

氏名 檜原 弘樹

檜原弘樹の博士論文は「センサ向けデバイスコンピューティングアーキテクチャの研究 (The study of device computing architecture for sensor applications)」と題し、本文は7章から構成されている。

Internet of Things (IoT)アプリケーションでは多数のセンサがフィールドに配置され、これらのセンサから大量のデータが出力される。既設の通信回線では通信容量が不足し、センサが出力するデータを選別ないし圧縮して伝送容量を削減する機能が不可欠となっている。このために用いられる組み込み用マイクロコントローラ (Micro-controller Unit: MCU) や Field Programmable Gate Array (FPGA) の小型化および低消費電力化が課題となっており、近年では半導体のみならず金属の応用も試みられ、金属イオンの架橋を動的に制御するデバイスも提案されている。また、演算処理アルゴリズムを直接半導体集積回路に落とし込むための動作合成技術や、それらのアルゴリズムを高級言語で記述することを可能とする高位合成技術も実用化されている。これらの新しいデバイス技術やソフトウェア技術を統合し、センシングデバイス自体に演算処理を埋め込むことができれば、既設の通信回線を活用しつつ十分な量のデータを収集し、解析することが可能となる。本研究では、これらのデバイスやソフトウェア技術を効果的に活用して小型化、低消費電力化、および高信頼性を達成するアーキテクチャを提案している。あわせて本提案アーキテクチャを用いた、さらなる応用の可能性についての議論を行っている。

第1章では研究の背景として、IoT用センシングデバイスに対するインテリジェント化要求を満たすために、新しいデバイスであるナノブリッジを活かして低消費電力化を図り、センシングデバイス自体に演算処理機能を埋め込む必要性について論じている。この演算処理機能を関数型言語で記述し、ハード化して小型化・低消費電力化を図ることによりセンシングデバイスに埋め込む仕組みの必要性を論じ、人工衛星に搭載するセンサ向けに应用するための信頼性要求についての整理を実施している。人工衛星搭載機器の誤動作に繋がる故障現象を整理し、単一故障点を排除してこれらの故障現象を回避するアーキテクチャの意義・必要性について述べている。

第 2 章では、本研究で提案する新しい演算器のアーキテクチャと設計手法の応用先として、直に外界に接するセンサ向けのデバイスコンピューティングに対象を定め、既存の演算デバイスである MCU、FPGA、および動的再構成プロセッサ (Dynamically Reconfigurable Processor: DRP) の課題を克服しつつこれらのプロセッサの利点を統合し、新しいデバイスであるナノブリッジを活かすアーキテクチャと設計手法を提案している。提案するアーキテクチャとその設計手法、および高信頼性化設計手法について、従来研究との関係を論じている。

第 3 章では、ナノブリッジを活かすアーキテクチャを提案するに当たり、組み込みオートマトンと称する計算モデルを策定し、既存の MCU、FPGA、および DRP の課題を明らかにし、これらの課題を克服し、利点を継承するための手法を論じている。外付けメモリ素子を要することなく、高級言語でプログラム可能な MCU の利点、Wire rate processing が可能な FPGA の利点、および状態に応じて最適な演算器を接続できる DRP の利点を取り込むことにより、新しいプロセッサエレメント (Processing Element: PE) のアーキテクチャを提案し、本アーキテクチャの利点と研究開発の方向性を論じている。

第 4 章では、新しいプロセッサエレメントアーキテクチャを実現するための回路合成手法について論じ、高位合成の拡張機能を活用した粒度別階層化設計手法を提案している。本設計手法の適用手順を階層化設計フローという新しい手順として纏め、高位合成技術および動作合成技術との親和性について論じ、これらの合成技術を活かした新しいプロセッサエレメントアーキテクチャの実用性についても論じている。

第 5 章では、第 3 章で提案したプロセッサエレメントのアーキテクチャと第 4 章で提案した高位合成拡張が高信頼性化設計にも有効であることを論じている。単一故障点を排除するという高信頼性化設計指針の下にこれらの新しいアーキテクチャと設計手法を用いて多数決等の従来方式を凌駕する高信頼性化アーキテクチャを提案している。多数決方式では実現不可能な二重系がこの高信頼性化アーキテクチャで実現可能であることを示し、高信頼性を維持しつつ小型軽量化を兼ね備えた実用システムが構築可能であることを論じている。

第 6 章では本研究で提案するアーキテクチャと設計手法による小型化・低消費電力化の効果を実験によって定量的に検証している。

第 7 章はまとめであり、本研究で得られた結果および考察を総括している。

以上のように、IoT に用いられるセンシングデバイスに演算処理機能を埋め込むアーキテクチャと設計手法を提案し、その有効性を示し、提案アーキテクチャと設計手法の他分野への応用を示すなど工学としての意義が十分に高い。

よって、本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。